

①⑨ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ Offenlegungsschrift
⑩ DE 41 06 548 A 1

⑤① Int. Cl.⁵:
G 02 B 21/00
G 02 B 6/00
G 01 N 21/84

②① Aktenzeichen: P 41 06 548.4
②② Anmeldetag: 1. 3. 91
④③ Offenlegungstag: 3. 9. 92

DE 41 06 548 A 1

⑦① Anmelder:
Helmut Hund GmbH, 6330 Wetzlar, DE

⑦④ Vertreter:
Riecke, M., Dipl.-Ing., 6333 Braunsfels

⑦② Erfinder:
Fischer, Ulrich, Dr., 6330 Wetzlar, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Sonde für die optische Nahfeldmikroskopie, Rastertunnelmikroskopie und Kraftmikroskopie

⑤⑦ Es wird eine Drahtsonde zur Verwendung als submikroskopischer Sender oder Empfänger elektromagnetischer Strahlung im infraroten bis ultravioletten Spektralbereich beschrieben. Die Sonde besteht aus einem mehr oder weniger konisch zulaufenden Stück eines elektrisch leitenden Materials, wie z. B. Silber oder Gold, das über eine Länge einer oder mehrerer Wellenlängen in eine Spitze mündet, die einen Krümmungsradius besitzt, der klein oder vergleichbar ist zur Wellenlänge, und das am anderen Ende gehalten ist in einer lichtleitenden Struktur. Dieser Draht dient dazu, elektromagnetische Energie in Form einer Oberflächenwelle von der Halterung bis zur Spitze oder in umgekehrter Richtung zu transportieren. Die Eigenschaft der Sonde als Sender oder Empfänger für elektromagnetische Strahlung zu dienen ist lokalisiert auf die Abmessung der Spitze des Drahtes. In dieser Eigenschaft dient die Sonde z. B. als berührungsloser optischer Abstandssensor für die optische Nahfeldmikroskopie. Sie ist jedoch gleichzeitig auch geeignet, als Sonde für andere Varianten der Rastersondenmikroskopie, wie z. B. die Rastertunnelmikroskopie oder eine hier neu beschriebene Form der Kraftmikroskopie zu dienen. Die Spitze kann außerdem z. B. dazu dienen, eine auf wenige Nanometer begrenzte Laseraktivität zu erzeugen. In einer hier vorgeschlagenen Ausführungsform besteht die Sonde aus einer zu einer Spitze zulaufenden Glasfaser mit Silberkern, der über eine Länge mehrerer Wellenlängen aus der Spitze ...

DE 41 06 548 A 1

Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine Drahtsonde zur Verwendung als submikroskopischer Sender oder Empfänger elektromagnetischer Strahlung, im infraroten bis ultravioletten Spektralbereich, der primär bei der optischen Nahfeldmikroskopie, zusätzlich auch bei der Rastertunnelmikroskopie (2) und einer im folgenden neu beschriebenen Form der Kraftmikroskopie (3) als berührungsloser Abstandssensor einsetzbar ist.

Sonden als Abstandssensoren für die optische Nahfeldmikroskopie, die der hier beschriebenen am nächsten kommen, sind bereits beschrieben, z. B. in

1. der deutschen Patentanmeldung P 39 16 047.5,
2. der DE-PS 38 37 389,
3. dem Aufsatz "A Light Source Smaller Than the Optical Wave-length" von K. Lieberman et al, in der Zeitschrift "Science" Vol. 247, v. 5. 1. 1990, S. 59 ff,
4. dem Aufsatz "Nanometer Light Source and Molecular Exciton Microscopy" von R. Kopelman et al, in der Zeitschrift "Journal of Luminescence" 45 (1990), North-Holland.

Andere sind beschrieben in Ref. 1; 10; 15; 16; 17 des beigefügten Literaturverzeichnis.

Das allgemeine Prinzip der Rastersondenmikroskopie besteht darin, daß mit Hilfe einer speziell geformten Spitze ein Signal von der Spitze erhalten wird, das Auskunft gibt über den Abstand der Spitze von der zu untersuchenden Oberfläche, und gegebenenfalls auch über deren Materialbeschaffenheit. Dabei kommt es darauf an, daß dieses Signal auf einen möglichst geringen Abstand von der Spitze beschränkt ist, um eine hohe laterale Auflösung bei der Rastersondenmikroskopie zu erlangen.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen Sensor für den genannten Abstand, d. h. einen Abstandssensor, zu schaffen, mit dessen Hilfe ein optisches Signal insbesondere für die optische Nahfeldmikroskopie, d. i. eine besondere Form der Rastersondenmikroskopie, gewonnen werden kann, das eine charakteristische Funktion dieses Abstandes ist.

Diese Aufgabe ist durch eine Sonde gelöst, welche die in Anspruch 1 angegebenen Merkmale aufweist. Ein Verfahren zur Herstellung einer solchen Sonde ist in den Unteransprüchen charakterisiert.

In der Zeichnung sind die erfundene Sonde und deren Funktionsweise in mehreren Ausführungsbeispielen dargestellt.

Es zeigen:

Fig. 1a schematisch die Sonde in gestreckter Ausführung,

Fig. 1b schematisch die Sonde in abgewinkelter Ausführung,

Fig. 2 schematisch die Maßverhältnisse an der erfundenen Sonde,

Fig. 3a—3d die Darstellung eines Verfahrens zur Abwinklung der Drahtspitze,

Fig. 4 ein Diagramm der von der Sondenspitze emittierten Strahlung als Funktion der Bestrahlungsintensität für den Fall, daß oberhalb eines Schwellwertes der Intensität eine Laseraktivität einsetzt,

Fig. 5 schematisch die Verwendung der Sonde in einer Durchlichtanordnung der optischen Nahfeldmikroskopie (PSTM),

Fig. 6 schematisch die Verwendung der Sonde in einer Durchlichtanordnung der umgekehrten PSTM-Anordnung,

Fig. 7 schematisch die Verwendung der Sonde in ei-

ner internen Auflichtanordnung, wobei die Bezeichnung intern sich auf die Beleuchtung durch den Lichtleiter bezieht,

Fig. 8 schematisch die Verwendung der Sonde in einer externen Auflichtanordnung, wobei die Bestrahlung vom Außenraum des Lichtleiters erfolgt,

Fig. 9 schematisch die Verwendung der Sonde in einer Reflexionsanordnung mit Richtungsweiche im Lichtleiter.

Die Fig. 1a und 1b zeigen einen Draht D der Länge l_1 , der den für die Funktion der Sonde wesentlichsten Teil darstellt. Dabei liegt die Länge l_1 im Bereich der Größenordnung einer oder mehrerer Wellenlängen des verwendeten Lichtes. Der Draht ist an seinem einen Ende an eine lichtleitende Struktur L angeschlossen und mündet an seinem anderen Ende P_1 in eine Spitze mit dem Krümmungsradius a , der klein oder vergleichbar zur Wellenlänge ist. Der Durchmesser d_2 von D bei P_2 kann gleich oder größer als $2a$ sein. Der Draht D kann zentrisch oder exzentrisch zum Querschnitt der lichtleitenden Struktur L liegen und unter einem Winkel im Bereich von $\pm 90^\circ$ aus dieser Struktur (= Lichtleiter) herausragen.

In Fig. 2 sind schematisch die Maßverhältnisse in einer bereits verwirklichten Ausführung der Sonde dargestellt. Der Lichtleiter besteht aus einer Glasfaser G einer beliebigen Länge l_3 und hat einen Durchmesser d_6 von ca. $80\text{ }\mu\text{m}$. Die Glasfaser G enthält einen Kern aus Silberdraht S mit einem Durchmesser d_5 von ca. $8\text{ }\mu\text{m}$. Die Glasfaser G läuft an einem Ende über eine Länge l_3 von ca. $50\text{ }\mu\text{m} - 1\text{ mm}$ konisch zu, wobei das Verhältnis der Durchmesser d_5/d_6 am Beginn des Konus etwa gleich groß ist wie das Verhältnis der Durchmesser d_3/d_4 am Ende des Konus. Dieser Konus mündet über eine Länge l_4 in den Endteil der Sonde, wobei d_1/d_2 kleiner sein kann als d_3/d_4 .

Die Glasfaser G endet mit einer Dicke d_2 kleiner als $10\text{ }\mu\text{m}$ in einem den Draht S umschließenden Kragen K der Länge l_2 von wenigen Mikrometern. Aus diesem Kragen ragt der Silberdraht mit einer Länge l_1 von ca. $1 - 20\text{ }\mu\text{m}$ hervor und hat am Ende P_1 des Drahtes einen Durchmesser $2a$. Am Anfangspunkt P_1 hat der Draht einen Durchmesser d_1 , der größer sein kann als $2a$.

Die Fig. 3a—3d zeigen, wie durch Andrücken des Drahtes S an eine plane Gegenfläche G_f das herausragende Drahtstück abgewinkelt werden kann. Durch weiteres Ätzen des Glases kann die Sonde derart gestaltet werden, daß der Abknickpunkt des Drahtes im Abstand d_w vom Kragen K liegt (Fig. 3d).

In der verwirklichten Form wurde die Sonde hergestellt durch Ziehen des glasummantelten Silberdrahtes S nach dem bekannten Taylorverfahren (4) und durch Ziehen einer Spitze nach demselben Verfahren, wobei eine Methode zur lokalen Erhitzung des Drahtes verwendet wurde (5). Die in dieser Weise hergestellte Spitze wurde mit einem glaslösenden Ätzmittel behandelt, so daß ein Stück des Silberdrahtes S freigelegt wurde. Wegen des konischen Verlaufs der Glasspitze ist die Länge des freigelegten Stückes des Silberdrahtes abhängig von der Ätzeit.

Es sei jedoch ausdrücklich betont, daß dieses Herstellungsverfahren in mannigfacher Weise variiert werden kann. So können z. B. das Material des Glasmantels, des Kernmaterials, der Durchmesser des Kernes und die Querschnittsform des Glasmantels und des Kernes in weiten Grenzen abgeändert werden.

Funktionen der Sonde

Die vorstehend beschriebene Drahtsonde submikroskopischer Abmessung kann als Empfänger oder Sender elektromagnetischer Strahlung im infraroten bis ultravioletten Wellenlängenbereich dienen und ist in dieser Eigenschaft geeignet als berührungslose Abstandssonde u. a. als Sonde für die optische Nahfeldrastermikroskopie (1), darüber hinaus aber auch für die Rastertunnelmikroskopie (2) und eine hier neu beschriebene Form der Kraftmikroskopie (3) zu dienen, desgleichen auch für die Kombination dieser Rastersondenmikroskopie-Arten.

Insbesondere können Anordnungen angegeben werden, die eine simultane optische Nahfeldmikroskopie, Rastertunnelmikroskopie und Kraftmikroskopie erlauben.

Die erfundene Sonde stellt nun einen Abstandssensor dar, mit Hilfe dessen ein optisches Signal für die optische Nahfeldmikroskopie (1), eine besondere Form der Rastersondenmikroskopie, gewonnen werden kann. Der für diese Funktion wesentliche Teil des Abstandssensors (= der Sonde) ist der oben beschriebene, aus dem Lichtleiter, d. h. der Glasfaser G herausragende Metalldraht. Dieser Draht dient dazu, elektromagnetische Energie in Form einer strahlungslosen Oberflächenwelle längs des Drahtes zur Spitze zu führen, oder von dieser abzuführen. Hinweise auf eine solche Drahtwelle wurden experimentell für Aluminium gefunden (9) und theoretisch erklärt (7; 8). Mit der oben beschriebenen realisierten Ausführungsform der Sonde war es dem Erfinder erstmals möglich, eine Drahtwelle entlang eines Silberdrahtes im optischen Frequenzbereich nachzuweisen.

Wird Licht vom Ende der Glasfaser eingestrahlt, so pflanzt sich das Licht bis zum Kragen K fort. Dort im Lichtleiter oder am Kragen K wird eine Oberflächenwelle an der Oberfläche des Silberdrahtes angeregt, die sich bis an das freie Ende des Lichtleiters P₁ fortpflanzt. Dort kommt es durch eine partielle Umwandlung der Oberflächenwelle zur Abstrahlung von Licht, was als lokale Emission von der Spitze zu beobachten ist.

Umgekehrt kann die Spitze des Drahtes durch eine lokale Lichtemission in unmittelbarer Nähe der Spitze angeregt werden. Dies führt zu einer Anregung der Oberflächenwelle, und zu einer Einkopplung von Lichtenergie in den Lichtleiter.

Die Funktion der Drahtspitze als optische Nahfeldsonde erklärt sich wie folgt: Wird die Spitze durch die Drahtwelle zur Emission von Strahlung angeregt, so entsteht neben dem Strahlungsfeld ein Nahfeld hoher Intensität, das sehr eng an der Spitze lokalisiert ist. Die Reichweite dieses Nahfeldes korreliert mit dem Krümmungsradius a der Spitze. Je kleiner der Krümmungsradius ist, desto geringer ist die Reichweite. Die Intensität des Nahfeldes nimmt im Abstand $a/10$ von der Spitzenoberfläche um 50% ab für den Fall, daß der Radius klein ist im Vergleich zur Wellenlänge des abgestrahlten Lichtes (10). Bringt man einen Gegenstand in die Reichweite des Nahfeldes, so wird die Emission von der Spitze verändert und zwar in Abhängigkeit vom Abstand zum Objekt und in Abhängigkeit der lokalen optischen Eigenschaften des Objektes. Die Emission von der Spitze in den Außenraum oder in den Lichtleiter hinein wird als Signal für die optische Nahfeldmikroskopie verwendet.

Voraussetzung für die Existenz von Oberflächenwellen an Metalldrähten ist, daß es sich um ein nicht ideales

Metall handelt. Insbesondere im Falle von Gold oder Silber sind im optischen Frequenzbereich Oberflächenplasmonen an Drähten zu erwarten. Hier handelt es sich um Resonanzanregungen der Leitungselektronen an der Metalloberfläche, die eine besondere Bedeutung für die optische Sonde besitzen. Oberflächenplasmonen führen zu einer elektromagnetischen Oberflächenwelle hoher Intensität. Diese Oberflächenwelle führt an der Spitze des Drahtes zur Anregung eines lokalisierten Oberflächenplasmons, das im wesentlichen der Resonanzanregung einer Silberkugel entspricht, die zur optischen Resonanzstreuung an Silbersolen führt (11). Bei der optischen Sonde wird also am Ende der Glasfaser ein Oberflächenplasmon angeregt, das sich entlang des Drahtes bis zur Spitze fortpflanzt. Hier wird ein lokalisiertes Oberflächenplasmon der Spitze angeregt. Diese gekoppelte Resonanzanregung führt zu einer sehr hohen lokalen Feldstärke in unmittelbarer Umgebung der Spitze, die ähnlich wie die Resonanzfrequenz einer Silberkugel stark abhängt von einem Dielektrikum in unmittelbarer Umgebung (12). Ein ähnliches Phänomen wurde bereits früher mit einer anderen Geometrie beobachtet und zur Ausführung einer optischen Nahfeldsonde verwendet (13; 14). Dabei handelt es sich um die Kopplung eines Oberflächenplasmons entlang der Oberfläche eines Metallfilmes oder eines submikroskopischen Vorsprunges im Metallfilm (14). Diese Abhängigkeit bewirkt den sehr starken Einfluß eines Objektes in unmittelbarer Umgebung der Spitze auf Resonanzfrequenz und Intensität der Strahlungsemission von der Spitze. Bringt man ein Objekt in die Nähe der Spitze, so ändern sich bei konstanter Beobachtungswellenlänge die Intensität als Funktion des Abstandes zwischen Spitze und Objekt, wobei die Abstandsabhängigkeit in charakteristischer Weise von den lokalen optischen Eigenschaften des Objektes abhängt. So kann es z. B. sein, daß sich bei Bestrahlung der Spitze von der Glasfaser her mit weißem Licht die Farbe der Emission von der Spitze als Funktion des Abstandes zum Objekt ändert. Bei Bestrahlung mit monochromatischem Licht kann die Annäherung eines Objektes je nach Beschaffenheit des Objektes eine Abnahme, eine Zunahme oder auch eine Charakteristik mit einem Maximum der Intensität bewirken. Diese Abhängigkeiten können in einer der unten angegebenen Anordnungen eines optischen Nahfeldmikroskopes vermessen werden. Diese starken Abstandsabhängigkeiten sind Ursache für die Kontrastentstehung für die optische Nahfeldmikroskopie in ähnlicher Weise wie bei anderen Formen der optischen Nahfeldmikroskopie (10).

Die hohe lokale Intensität in unmittelbarer Umgebung der Spitze kann zur Erzeugung nichtlinearer optischer Phänomene an oder in unmittelbarer Umgebung der Spitze führen, die auf eine Abmessung der Dimension weniger Nanometer begrenzt ist, bei relativ kleinen Bestrahlungsintensitäten. Insbesondere ist denkbar, daß es bei Annäherung eines laseraktiven Materials in unmittelbarer Nähe der Spitze zu einer auf die extrem kleine Reichweite des Nahfeldes der Sonde beschränkte Besetzungsinversion und damit zu einer auf eine Dimension weniger Nanometer begrenzten Laseraktivität kommt. Experimentell läßt sich eine solche Aktivität nachweisen durch ein überproportionales Anwachsen der von der Spitze emittierten Strahlung I_2 bei Überschreiten eines Schwellwertes der Bestrahlungsintensität I_1 (Fig. 4). Es ist auch denkbar, daß das Spitzenmaterial selbst im oben genannten Sinne zur Laseraktivität fähig ist.

Verschiedene Anordnungen der Sonde zum Zweck der optischen Nahfeldmikroskopie sind denkbar:

1) Durchlichtanordnung in Analogie zum Photon Scanning Tunneling Microscope (15) (Fig. 5). Das Objekt befindet sich als dünne Schicht auf einem glatten Glasträger oder auf der Oberfläche einer lichtleitenden Struktur. Die Glasoberfläche wird von der Glasseite her unter einem Winkel der Totalreflexion bestrahlt. Dadurch werden an der Objektoberfläche evanescente Wellen erzeugt. Bringt man die Drahtsonde in die Nähe der Oberfläche, so wird die Spitze der Drahtsonde durch das evanescente Feld angeregt und Licht wird in den Lichtleiter eingekoppelt, das am Ende des Lichtleiters detektiert wird. Das eingekoppelte Signal zeigt eine Abstandsabhängigkeit. Diese Abstandsabhängigkeit des Signals wird verwendet, um während des Rastervorganges die Sonde so nachzuführen, daß die detektierte Intensität konstant ist. Das Nachführsignal wird zur Bildgebung verwendet.

2) Durchlichtanordnung in der umgekehrten PSTM-Anordnung (Fig. 6). Die Spitze wird durch den Lichtleiter bestrahlt. Das Objekt ist ähnlich wie beim PSTM in Form einer dünnen Schicht auf einer Glasoberfläche oder an der Oberfläche eines zweiten Lichtleiters angebracht. Wird die Spitze an die Oberfläche herangeführt, so werden evanescente Wellen angeregt und Licht wird in die Richtung der Winkel der Totalreflexion oder in die Moden des zweiten Lichtleiters eingekoppelt und mit Hilfe des Detektors detektiert. Ähnlich wie bei der Tunnelmikroskopie können durch Modulation von Abstand oder Bestrahlungswellenlänge spektroskopische Eigenschaften der Oberfläche abgebildet werden. Die Anordnung hat gegenüber der oben angegebenen Anordnung den Vorteil der geringeren Strahlenbelastung des Objektes.

3) Die externe Auflichtanordnung ist in Fig. 7 dargestellt. Die Spitze wird von außen her lokal bestrahlt. Dies führt zur Anregung der Spitze und der Drahtwelle. Licht wird deshalb in den Lichtleiter eingekoppelt. Die eingekoppelte Intensität ändert sich, wenn die Oberfläche an das Objekt herangeführt wird. Dieses abstandsabhängige Signal wird verwendet, um wiederum die Oberfläche bei konstanter eingekoppelter Intensität abzurastern und das Nachführsignal wird zur Bildgebung aufgezeichnet. Die Anordnung entspricht einer für das PSTM angegebenen Reflexionsanordnung (16).

4) Die interne Auflichtanordnung ist in Fig. 8 gezeigt. Die Spitze wird durch den Lichtleiter bestrahlt. Die Spitze wird über eine Optik möglichst hoher Apertur abgebildet, und das von der Spitze emittierte Licht wird gemessen, und das Meßsignal wird in ähnlicher Form wie oben beschrieben zur Bilderzeugung verwendet. Diese Anordnung eignet sich besonders, um Nahfeldefekte der Sonde visuell im Lichtmikroskop zu beobachten. Die Methode hat gegenüber der oben angegebenen den Vorteil einer geringeren Strahlenbelastung des Objektes.

5) Die Reflexionsanordnung mit Richtungsweiche im Lichtleiter ist in Fig. 9 dargestellt. Sie ist analog der Reflexionsanordnung des PSTM (16).

6) Anordnungen der oben beschriebenen Art können auch mit einer abgewinkelten Sonde wie schematisch in Fig. 1b gezeigt in hier nicht näher beschriebener Form realisiert werden.

7) Neben der Nahfeldmikroskopie auf die oben beschriebene Art kann auch die Lumineszenz durch Einbringen von Filtern in Beleuchtungs- oder Detektionsstrahlengang als Signal für die Mikroskopie verwendet

werden. Signale, die aufgrund nichtlinearer Prozesse erzeugt werden, können in Anordnungen, bei denen die Bestrahlung durch den Wellenleiter erfolgt, zur Bildgebung ausgenutzt werden. Optisch induzierte Phänomene wie NOBIC (Near field Optical Induces Conductivity) und photoakustische Signale können zur Bildgebung dienen. Aufgrund der metallischen Spitze können auch optisch induzierte elektrische Phänomene und elektrisch induzierte optische Phänomene als Signale für die Bildgebung ausgenutzt werden. Magneto-optische Phänomene können mit submikroskopischer Auflösung abgebildet werden.

8) Die internen Auflichtanordnungen können zur Nanolithographie verwendet werden.

Da die Spitze metallisch ist, kann gleichzeitig Tunnelmikroskopie und SNOM betrieben werden. Man kann das elektrische Signal bei einer leitenden Oberfläche zur Abstandsregelung verwenden und das optische Signal aufzeichnen (17). Umgekehrt kann man leitfähige Bereiche lokalisieren, indem man das optische Signal zur Abstandsregelung verwendet und den Strom aufzeichnet.

Optisch induzierte Einflüsse auf den Tunnelstrom und durch den Tunnelstrom induzierte Lumineszenz, die in die Drahtwelle eingekoppelt wird, können als Signal für die Bildgebung verwendet werden.

Kraftmikroskopie mit der optischen Nahfeldsonde

Varianten der Sonde mit abgewinkelten Drähten können zur Kraftmikroskopie verwendet werden. Bei Anordnungen mit abgewinkeltem Draht dient der gerade Teil der Sonde als Federbalken, der abgewinkelte Draht als Spitze. In der internen Auflichtanordnung wird z. B. der Beleuchtungsstrahlengang mit einer Frequenz in der Nähe der Eigenresonanz des Federbalkens moduliert. Dies führt zu einer photoakustischen Modulation des Abstandes zwischen Spitze und Objekt. Wegen der Wechselwirkung zwischen Spitze und Objekt führt dies zu einer Anregung des über diese Wechselwirkung mit der schwingenden Oberfläche gekoppelten Federbalkens. Das externe optische Signal wird detektiert und die Phasendifferenz zwischen Anregungssignal und detektiertem Signal wird als Maß für die Wechselwirkungskraft verwendet. Nachführsignal zur Einstellung eines konstanten und optisch stationären Signals und optisches Wechselsignal können zur Bildgebung verwendet werden. Der Abstand kann auch durch erzwungene Vibration des Objektes oder des Federbalkens moduliert werden.

Stand der Technik und Abgrenzung von anderen verwandten Veröffentlichungen und Patentanmeldungen

Die in dieser Anmeldung beschriebene Sonde für die optische Nahfeldmikroskopie unterscheidet sich von anderen vorgeschlagenen Anordnungen. Am nächsten kommen der hier beschriebenen Anordnung die folgenden anderen Anordnungen:

1) Coaxialanordnung der Druckschriften (18; 19). Die hier beschriebene Anordnung unterscheidet sich wesentlich dadurch, daß ein freier Metalldraht zur Lichtleitung über eine Länge mehrerer Wellenlängen bis zur Spitze verwendet wird, während in den beiden zitierten Druckschriften eine Coaxialanordnung für diesen Zweck verwendet wird.

2) In der von Liebermann et al (20) angegebenen Anordnung dient ein organischer Kristall an der Mündung

einer zu einer Spitze gezogenen Glaskapillare, die von einer Metallschicht ummantelt ist, zur Lichtleitung durch ein submikroskopisches Loch. Diese Anordnung unterscheidet sich von der hier beschriebenen in der Wahl des zur Lichtleitung verwendeten Materials, in der Art der Herstellung und wiederum dadurch, daß die Lichtleitung nicht über die Distanz mehrerer Wellenlängen erfolgt.

3) Andere Anordnungen von Sonden der optischen Nahfeldmikroskopie unterscheiden sich von der hier angegebenen dadurch, daß sie ebenfalls keinen Metallkern besitzen.

Literaturverzeichnis

- 1) Pohl DW, Denk W, Lanz M, (1984) Appl. Phys. Lett. 44: 651,
- 2) Binnig G, Rohrer H, (1984) Physica 127 B: 37,
- 3) Heinzelmann H, Meyer E, Rudin H, Güntherodt HJ, (1990) in: Behm RJ, Garcia N, Rohrer H, (eds): Scanning tunnel microscopy and related methods. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London,
- 4) Taylor GF, (1924) Phys. Rev. 23: 655,
- 5) Reitboeck HJ, (1983), Journal of Neuroscience Methods, 8: 249,
- 6) Wickramasinghe HK, (1989) Spektrum der Wissenschaft Dec 1989: 62,
- 7) Ashley JC, Emerson LC, (1974) Surface Science, 41: 615,
- 8) Pfeiffer CA, Economou EN, Ngai KL, (1974) Physical Review B, 10: 3038,
- 9) Miziumski (1972), Physics Letters 40A2: 187,
- 10) Fischer UCh, (1990), in: Behm RJ, Garcia N, Rohrer H, (eds) Scanning tunneling microscopy and related methods Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London, 475,
- 11) Born M, Wolf E, (1980) Principles of Optics, 6th ed. Pergamon Press, Oxford, New York, Toronto, Paris, Frankfurt: 661,
- 12) Ruppel R, (1983) Surface Science, 127: 108,
- 13) Fischer UCh, (1986) J. Opt. Soc. Am B3: 1239,
- 14) Fischer UCh, Pohl D.W., (1989) Phys. Rev. Lett. 62: 458,
- 15) Reddick RC, Warmack RJ, Ferrell TL, (1989) Phys. Rev. B39: 767,
- 16) Girard C, Spajer M, (1990) Appl. Optics, in print,
- 17) Dürig U, Pohl DW, Rohner F, (1986) J. Appl. Phys. 59: 3318,
- 18) Keilmann F, (1988) DE-PS 38 37 389,
- 19) Fischer UCh, (1989) DE-OS 39 16 047,
- 20) Liebermann K, Harush S, Lewis A, Kopelman R, (1990) Science 47: 59,
- 21) Kopelman R, Lewis A, Lieberman K, (1990) Journal of Luminescence 45: 289.

Patentansprüche

1. Drahtsonde zur Verwendung als submikroskopischer Sender oder Empfänger elektromagnetischer Strahlung, die z. B. als berührungsloser Abstandssensor bei der Rastersondenmikroskopie, insbesondere bei der optischen Nahfeldmikroskopie, aber auch bei der Rastertunnelmikroskopie und bei der Kraftmikroskopie anwendbar ist, dadurch gekennzeichnet, daß die Sonde aus einem Draht (D) der Länge (l_1) in der Größenordnung einer oder mehrerer Wellenlängen des verwendeten Lichtes besteht, der an seinem einen Ende (P_1) an eine lichtleitende

Struktur (L) angeschlossen ist und an seinem anderen Ende (P_2) in eine Spitze mit einem Krümmungsradius (a) mündet, der gleich oder kleiner als die Wellenlänge ist, während sein Durchmesser (d_2) an seinem Ende (P_2) gleich oder größer als der doppelte Krümmungsradius (a) ist, und der gerade oder unter einem Winkel von bis zu $\pm 90^\circ$ aus der Endfläche der lichtleitenden Struktur (L) herausragt.

2. Drahtsonde nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die lichtleitende Struktur (L) aus einer Glasfaser (G) mit einem Durchmesser (d_6) von ca. 80 μm besteht, die mit einem Silberkern in Drahtform des Durchmessers (d_5) von ca. 8 μm versehen ist und an einem Ende über eine Länge (l_3) von ca. 50 μm — 1 mm konisch zuläuft, wobei das Verhältnis der Durchmesser d_5/d_6 am Beginn des Konus etwa gleich groß ist wie das Verhältnis der Durchmesser d_3/d_4 am Ende des Konus, und der Konus über eine Länge (l_4) in das Ende der Sonde mündet, deren Durchmesser Verhältnis d_1/d_2 größer als das Verhältnis d_3/d_4 sein kann, und daß der Glasschaft mit einem Durchmesser (d_2) kleiner als ca. 10 μm in einem den Draht umschließenden Kragen (K) von wenigen Mikrometern Länge (l_2) endet, aus dem der Silberdraht über eine Länge (l_1) von ca. 1 — 20 μm hervorragt, mit einem Durchmesser $2a$ am Ende (P_1) des Drahtes und einem Durchmesser (d_1) von $> 2a$ am anderen Ende (P_2) des Drahtes.

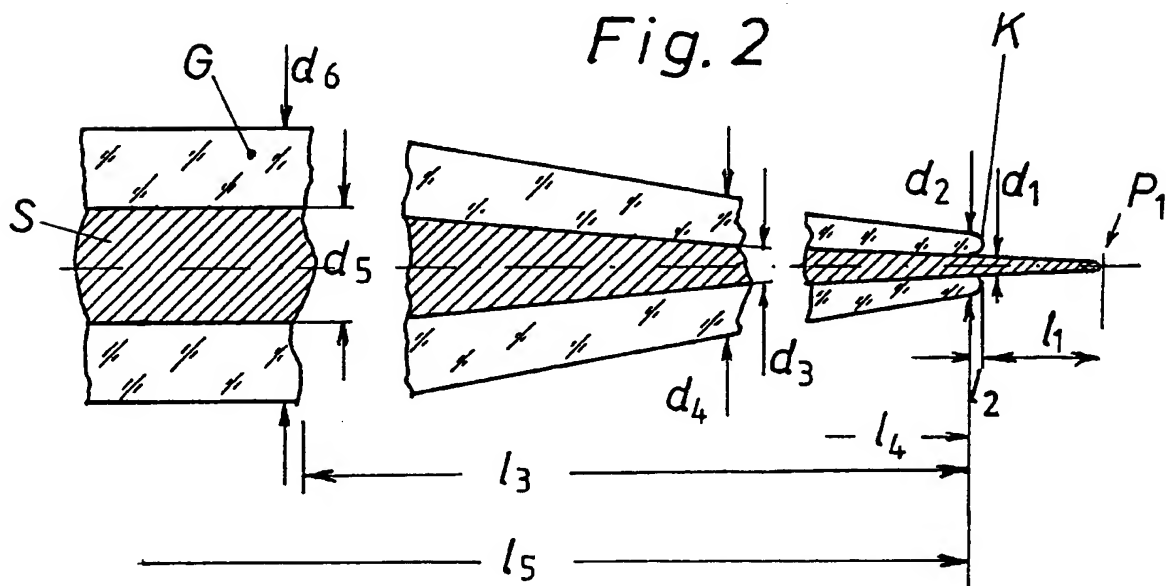
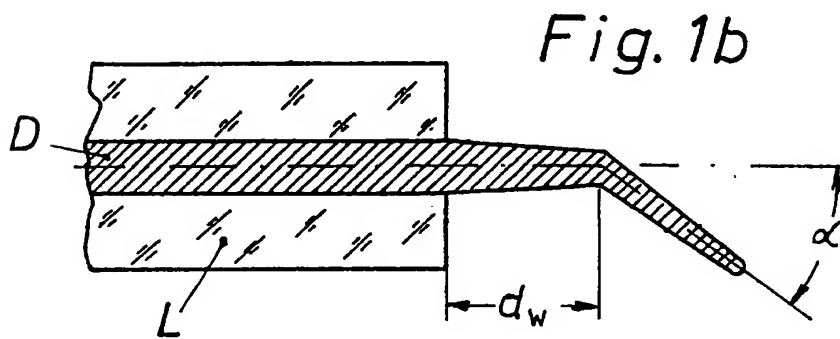
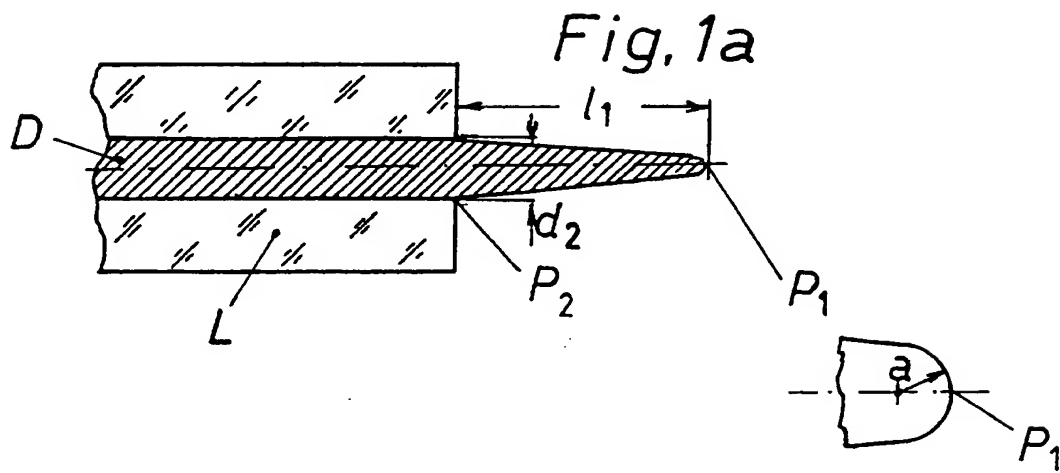
3. Verfahren zur Herstellung einer Sonde der Ansprüche 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß ein glasummantelter Silberdraht nach dem Taylorverfahren (4) ausgezogen und nach dem gleichen Verfahren an ihm unter lokaler Erhitzung eine Spitze angezogen wird, und daß dann die Spitze mit einem glaslösenden Ätzmittel derart behandelt wird, daß ein Stück des Silberdrahtes (S) freigelegt wird, dessen Länge (l_1) von der Ätzzeit abhängt.

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß das herausragende Drahtstück durch Andrücken an eine plane Gegenfläche (G_1) abgewinkelt wird.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß durch weiteres Ätzen des Glases der Draht soweit freigelegt wird, daß die Abwinkelstelle in einem Abstand (d_w) vom Kragen (K) liegt.

Hierzu 6 Seite(n) Zeichnungen

— Leerseite —



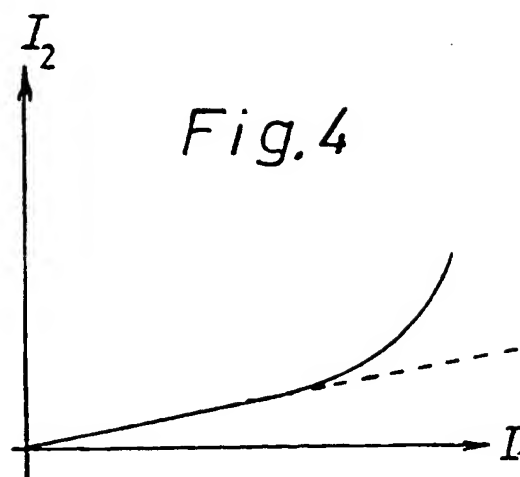
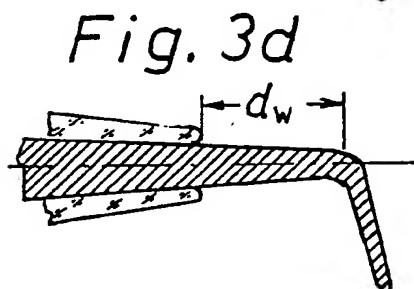
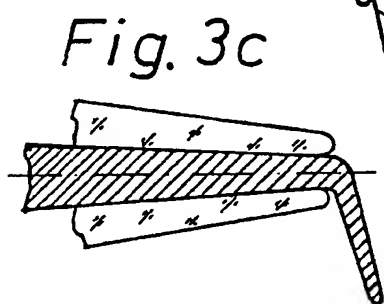
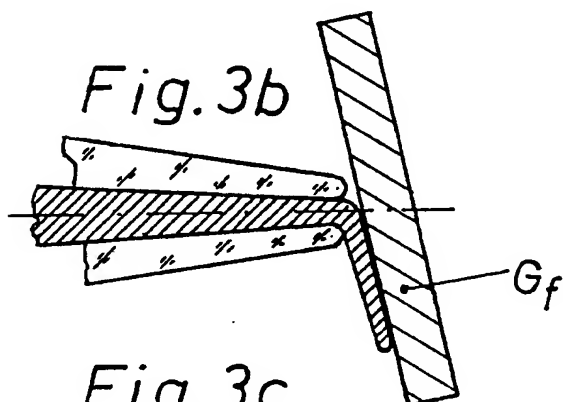
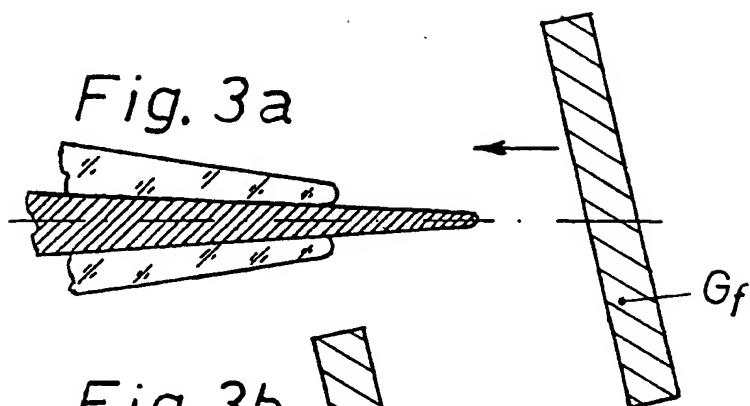


Fig. 5

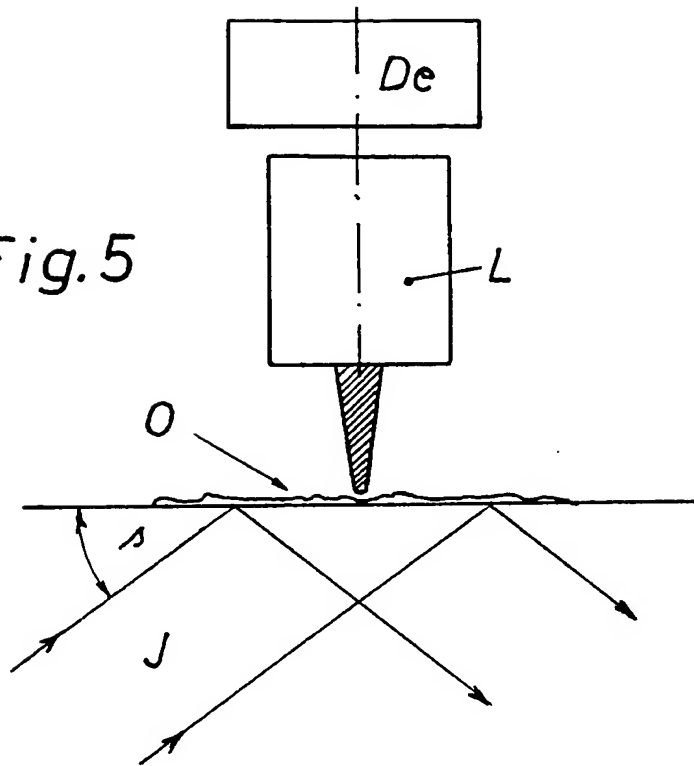


Fig. 6

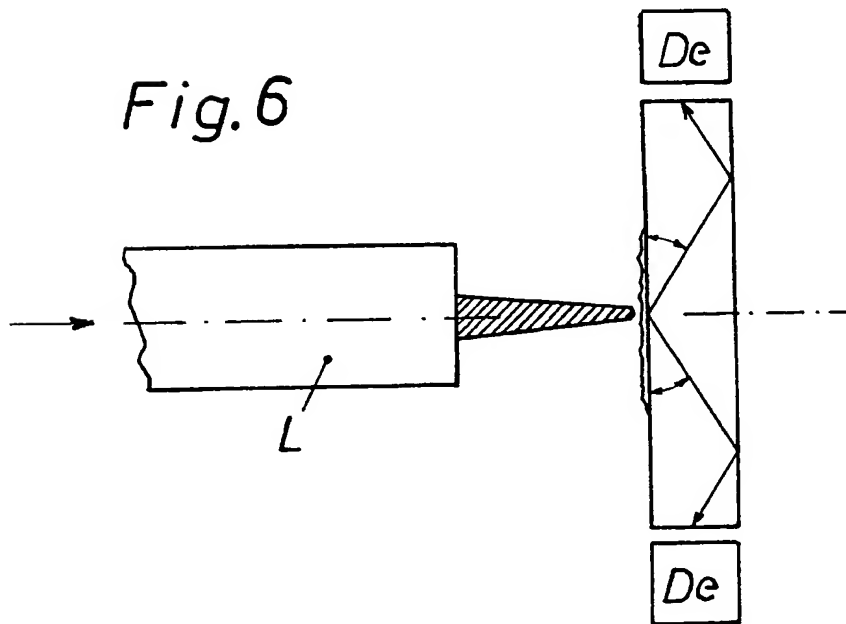


Fig. 7

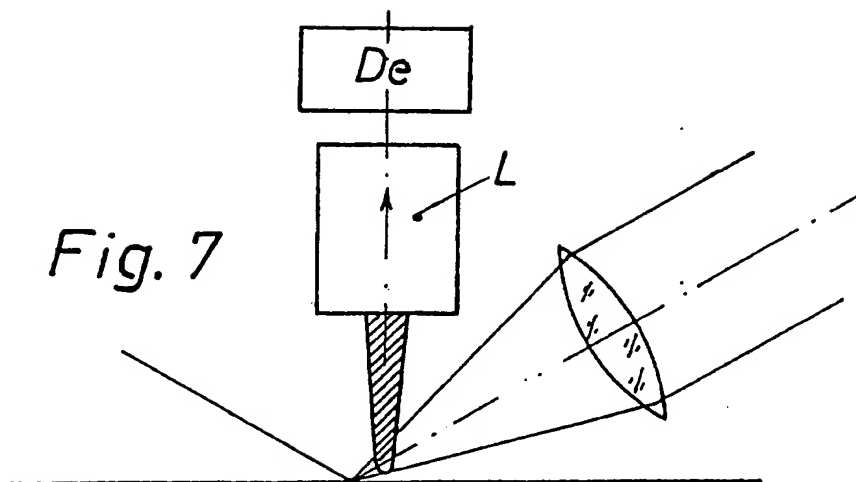
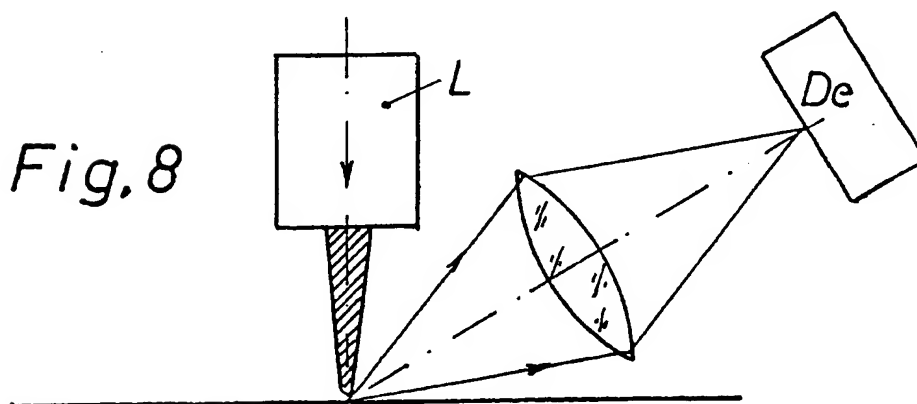


Fig. 8



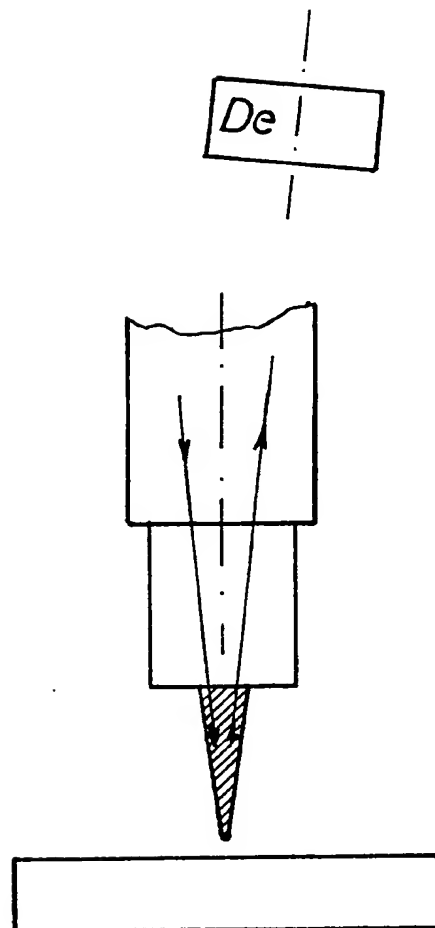


Fig. 9

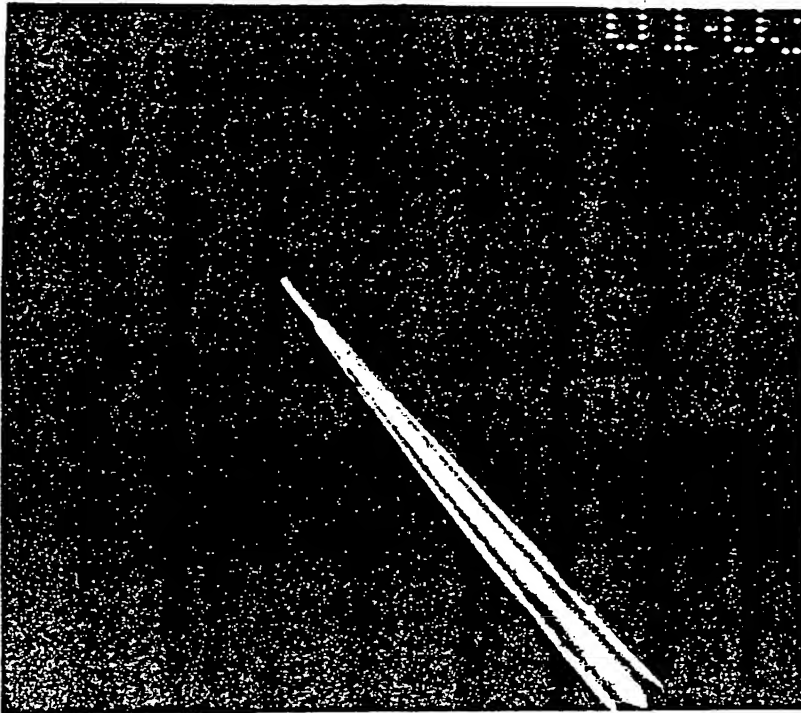


Foto Nr. 1
beobachtet mit Auf-
lichtbeleuchtung

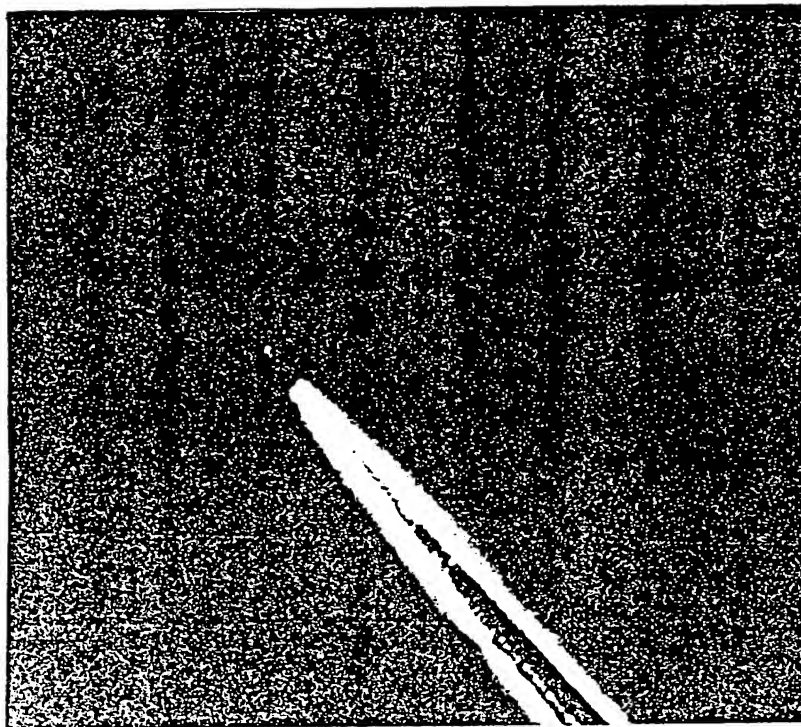
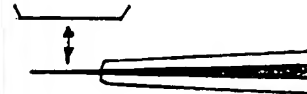


Foto Nr. 2
beobachtet bei Ein-
strahlung in das
Faserende

